

INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE CORTE E DA ESTRATÉGIA DE USINAGEM NA QUALIDADE DE FERRAMENTAS PARA CORTE E REPUXO ¹

Carlos Cesar de Castro Deonísio ²
Olívio Novaski ³

Resumo

O principal objetivo deste trabalho é caracterizar a qualidade da superfície gerada no processo de fresamento em acabamento, com fresas de topo esférico, do aço para trabalho a frio ABNT D2, endurecido. Utilizou-se o método do planejamento fatorial e as variáveis de influência foram as condições de contato entre a ferramenta e a superfície usinada e a velocidade de corte, as variáveis de resposta foram os esforços de usinagem e a rugosidade. O aumento da velocidade de corte muda o mecanismo de formação do cavaco, causando a diminuição da razão entre o aumento dos esforços de usinagem e o aumento da velocidade de corte, decorrente da mudança na distribuição de temperatura entre a ferramenta de corte, a peça e o cavaco. A velocidade de corte e as condições de contato influenciam nos valores dos esforços de usinagem e na rugosidade.

Palavras-chave: Usinagem em alta velocidade; Moldes e matrizes; Rugosidade; Aço endurecido.

¹ Trabalho apresentado no 4º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 2 a 5 de maio de 2006, Joinville, SC.

² Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI / Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia - CIMATEC

³ Universidade estadual de Campinas – UNICAMP / Faculdade de Engenharia Mecânica – FEM / Departamento de Engenharia de Fabricação - DEF

1 INTRODUÇÃO

No fresamento de moldes e matrizes, as superfícies de trabalho contêm uma grande quantidade de superfícies de formas livres. Estas superfícies contêm formas côncavas e/ou convexas e podem ser usinadas em máquinas ferramenta de três eixos, com o uso de fresas de topo esférico.⁽¹⁾ Na usinagem em máquinas ferramenta CNC de cinco eixos tem-se dois eixos de rotação associados, cada um deles, a um dos eixos principais de movimentação da máquina, X, Y ou Z. Os eixos de rotação associados aos eixos principais são chamados de eixos A, B e C, respectivamente, conforme o projeto da máquina CNC. (DIN 66217, 1984) A usinagem com movimentação simultânea dos cinco eixos é pouco usual, em função da dificuldade encontrada na preparação das estratégias de usinagem, considerando-se a complexidade das formas a serem usinadas e a cinemática da máquina ferramenta CNC de cinco eixos.^(3,4)

Em 1996, poucos programas de CAM possibilitavam a usinagem em cinco eixos e a simulação das estratégias, extremamente necessária para minimizar os riscos de colisão da máquina ferramenta. Janovsky⁽⁵⁾ observou que, mesmo quando o software de CAM possuía o recurso da usinagem simultânea em cinco eixos, o desenvolvimento da estratégia de usinagem era extremamente trabalhoso. Apesar da evolução dos programas de CAM, atualmente ainda é mais comum o uso da usinagem em “três mais dois eixos”, na qual não existe a movimentação simultânea dos cinco eixos, mas sim o posicionamento da ferramenta de corte, nos dois eixos de rotação, antes do início da usinagem, e a usinagem em três eixos com a ferramenta inclinada, em relação à superfície a ser usinada.

No processo de fresamento, com fresas de topo esférico, a posição da ferramenta de corte, em relação à superfície usinada, é determinada por dois ângulos: o ângulo de inclinação normal à direção da velocidade de avanço (B_{fn}) e o ângulo de inclinação da ferramenta na direção da velocidade de avanço (B_f). Na Figura 1, pode ser observado o ângulo B_f , medido entre o eixo de rotação da ferramenta e a reta perpendicular à superfície em usinagem (N), contidos num plano perpendicular à superfície usinada e paralelo a direção de avanço.

Através do sinal, positivo ou negativo, dos ângulos de inclinação da ferramenta de corte, (B_f) e (B_{fn}), determina-se o sentido de movimentação da fresa, que pode ser ascendente ou descendente. O sinal positivo do ângulo de inclinação da ferramenta de corte na direção da velocidade de avanço ($+B_f$), Figura 1 (c), indica que a inclinação da ferramenta tem a mesma direção e sentido da velocidade de avanço (v_f), e que o movimento é ascendente. O sinal negativo ($-B_f$) indica que a inclinação da ferramenta tem a mesma direção da velocidade de avanço (v_f), Figura 1 (a), mas no sentido contrário e que o movimento é descendente.

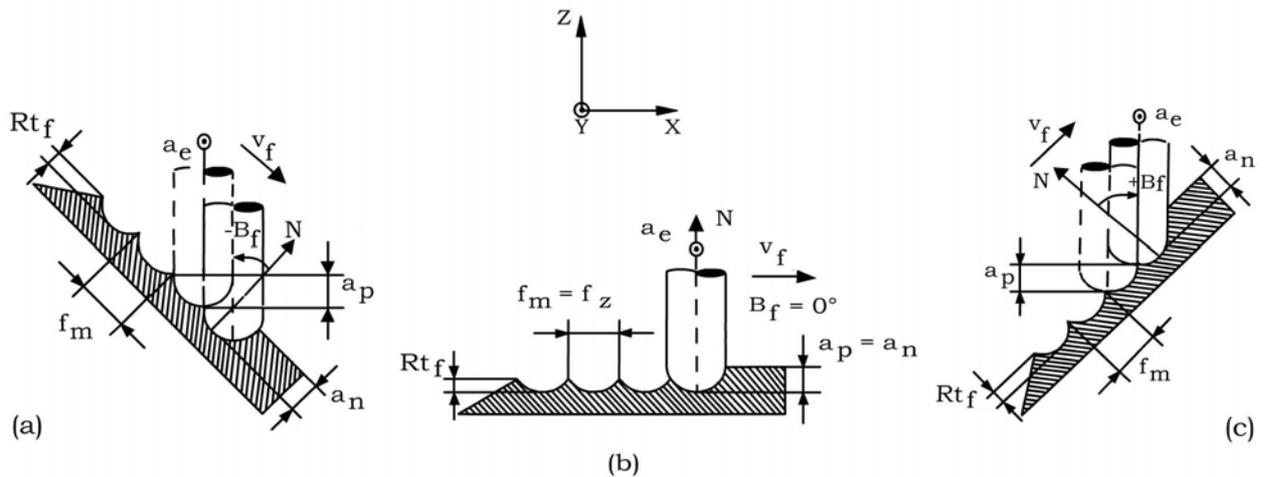


Figura 1. Representação da variação do ângulo (B_f), em máquinas CNC de três eixos, utilizando-se a estratégia de usinagem em cópia, na usinagem de superfícies inclinadas e planas. a) Movimento descendente ($-B_f$); b) Movimento neutro ($B_f = \text{zero grau}$); c) Movimento ascendente ($+B_f$).⁽⁶⁾

Do ponto de vista geométrico, para as ferramentas de topo esférico, não há dependência da altura de crista (Rt_f), na direção do movimento de avanço, ou na direção normal ao movimento de avanço, em relação aos ângulos de inclinação da ferramenta de corte (B_f ou B_{fn}). Assim, estas ferramentas são mais adequadas para o acabamento de superfícies complexas em 3 eixos. No entanto, a rugosidade é prejudicada para ângulos de inclinação da ferramenta de corte (B_f ou B_{fn}) menores do que 5° , pois a remoção de cavaco da região de corte é mais difícil e a velocidade de corte na região central tende a zero, provocando a extrusão e o encruamento do material nesta região. A rugosidade também é prejudicada para os ângulos de inclinação da ferramenta de corte (B_f ou B_{fn}) maiores do que 85° , devido à maior deflexão da haste da ferramenta e ocorrência de vibrações. Isso ocorre porque a força de apoio (F_{ap}) tem valores mais elevados para esta faixa de valores dos ângulos de inclinação da ferramenta.⁽¹⁾

A espessura de penetração (a_e), associada ao raio de fresas de topo esférico, exerce uma influência significativa na formação da altura das cristas, na superfície usinada (Rt_f). Entretanto, em operações com altas velocidades de corte, é possível o emprego de pequenas espessuras de penetração (a_e) associadas a altas velocidades de avanço. Assim, obtém-se um baixo valor de rugosidade, na direção normal à direção de avanço (Rt_f), sem aumentar o tempo de fabricação.

A Figura 2 (a) mostra a variação da velocidade de corte em função da variação do raio de corte, ao longo da aresta de corte de fresas de topo esférico. A Figura 2 (b) ilustra esta variação e a influência do ângulo de inclinação da ferramenta de corte.

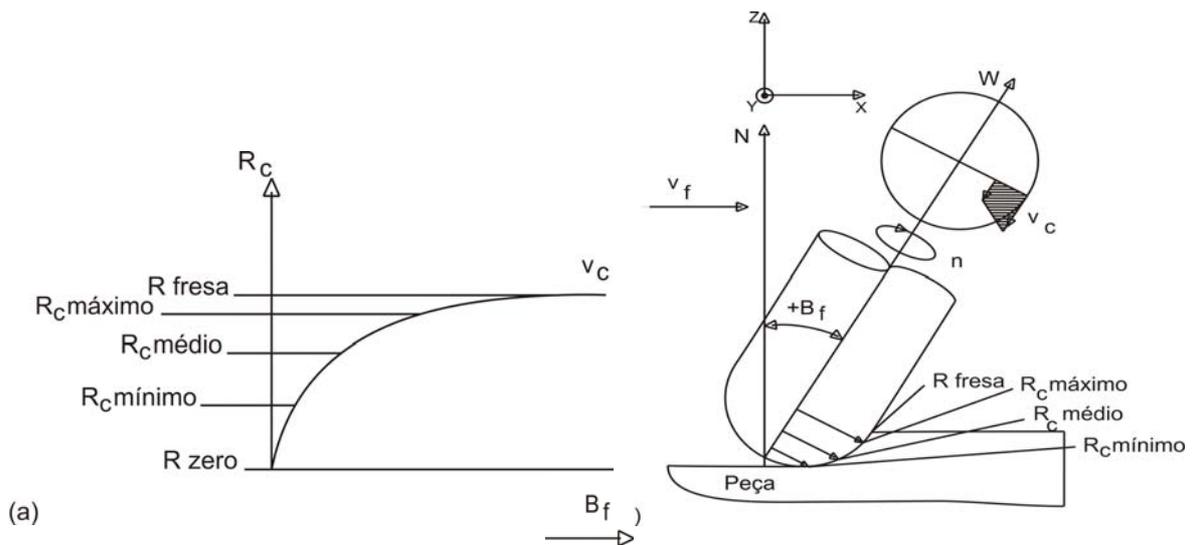


Figura 2. (a) Variação do raio de corte e da velocidade de corte, ao longo da aresta de corte de fresas de topo esférico, em função da variação do ângulo de inclinação da ferramenta; (b) Variação da velocidade de corte sobre a aresta de corte no movimento ascendente (adaptado de Aksoy, 1997⁽¹⁾).

Na Figura 2 (b), o ângulo (B_f) é positivo (movimento ascendente), e, o eixo “W” (eixo auxiliar da ferramenta de corte) é posicionado no eixo de giro, em relação ao eixo do movimento “Y”. Observa-se que o raio de corte e a velocidade de corte variam de um valor máximo até um valor mínimo. Esta observação justifica o porquê do movimento ascendente ser mais favorável à vida da ferramenta de corte, uma vez que o raio de corte é diferente de zero e a tendência de “lascamento” da aresta de corte é menor. Quando o corte ocorre próximo ao eixo de rotação da ferramenta, a velocidade de corte, medida ao longo da aresta de corte, diminui muito, podendo chegar a zero.⁽¹⁾

Para valores fixos da rotação (n), do sobrematerial (a_n) e do avanço por dente (f_z), com a redução do ângulo de inclinação da ferramenta de corte (B_f), observa-se a redução do raio máximo de contato ($R_{\text{máximo}}$), medido no plano de trabalho, e, conseqüentemente, da velocidade de corte (v_c). Observa-se, também a redução da espessura do cavaco e variação da sua seção transversal.

Com a diminuição do diâmetro da fresa, se a_n , f_z e B_f forem constantes, há o aumento da espessura máxima (h_m). Se houver variação do sobrematerial (a_n) haverá variação da espessura do cavaco (h_m), medida no plano de trabalho. Se o sobrematerial (a_n) aumentar, maior será o valor da espessura do cavaco (h_m). Reciprocamente, quanto menor for o sobrematerial (a_n), menor será o valor da espessura do cavaco (h_m).

Geist⁽⁷⁾ recomenda que as entradas e saídas devam ser realizadas com trajetórias em arco.

A literatura reporta uma melhora do acabamento superficial com o emprego de velocidades de corte (v_c) mais elevadas. Segundo Koepfer e Boogert,⁽⁸⁾ com o aumento da velocidade de corte (v_c), ocorre um aumento de energia na zona primária de corte, resultando um aumento da taxa de deformação plástica no material. Conseqüentemente, com o aumento da taxa de deformação plástica e com uma menor quantidade de calor dissipada da região plasticamente deformada ocorrerá um decréscimo nas componentes da força de usinagem, principalmente da força de corte (F_c) e um melhor acabamento superficial.

Na usinagem de matrizes de superfícies livres, em que não seja possível ajustar o melhor ângulo de inclinação da ferramenta de corte (B_f e/ou B_{fn}), em máquinas ferramenta de três eixos, por exemplo, o percurso da ferramenta deverá ser preferencialmente em contorno.⁽¹⁾

2 MATERIAL E MÉTODOS

A matéria prima para os ensaios era constituída por corpos de prova, do aço ABNT D2, com as dimensões de 10 mm x 15 mm x 100 mm, tratados termicamente para a dureza de 58 HRC a 60 HRC. Todos os ensaios de fresamento foram realizados num centro de usinagem vertical, modelo V33, fabricado pela empresa Makino Inc, com 20.000 rpm. Foram utilizadas ferramentas de corte com especificação, F 1827R.Z.16.Z2.08 WXH15, que corresponde à uma fresa de topo, de ponta esférica, intercambiável, em metal duro, com diâmetro 16 mm e cobertura de TiAlN, e com a especificação F 1827R.Z.16.Z2.08 WCB50, que corresponde à fresa de topo, de ponta esférica, intercambiável, em CBN, com diâmetro 16 mm, ambas com ângulo de hélice de zero graus. Em todos os ensaios foi utilizado o mesmo porta ferramentas (de montagem por aquecimento), e haste, de diâmetro 16 mm, com balanço de 100 mm (6,25 vezes o diâmetro da fresa), especificação do fabricante A 550.Z16.08.085-CS, para fixação das fresas de topo esférico, de metal duro (MD) e de CBN. Os valores das três componentes da força de usinagem foram obtidos através da utilização de um dinamômetro Kystler 9272 e acessórios.

Para simplificar a coleta e análise dos dados, os experimentos foram divididos em dois blocos de ensaios. No primeiro bloco de ensaios, Tabela 1, as condições de contato entre a ferramenta e a superfície usinada foram avaliadas em relação aos esforços de usinagem e a rugosidade obtida.

Tabela 1. Variáveis do Bloco de Ensaios nº 1.

| Variáveis de Influência | | | Variáveis de Resposta | |
|---|----------------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|
| Ensaio | Sentido de Corte | B_{fn} [°] | Rugosidade | Esforços de Usinagem |
| 1 | Concordante | +15 | Ra | $F_u; F_f; F_{ap}; F_p$ |
| 2 | Discordante | +15 | | |
| 3 | Concordante | +75 | | |
| 4 | Discordante | +75 | | |
| Constantes | | | | |
| Movimento Ascendente | Estratégia: Usinagem em Contorno | | $a_n = 0,10$ mm | |
| Fluido de Corte = ar comprimido (6,5 MPa) | $B_f = 0^\circ$ | $v_c = 140$ [m/min] | $a_e = 0,35$ mm | |
| MD micro grão / TiAlN | $V_B = 0,02$ mm | $Rt_h = 0,0025$ mm | $f_z = 0,05$ mm | |

No segundo bloco de ensaios foram avaliados os efeitos da variação da velocidade de corte (v_c) nos esforços de usinagem e na rugosidade.

Tabela 2. Variáveis do bloco de ensaios nº 2.

| Variáveis de Influência | | | Variáveis de Resposta | |
|---|---------------|----------------------------------|-----------------------|--|
| Ensaio | v_c [m/min] | Material ferramenta | Rugosidade $[R_a]$; | Esforços de Usinagem [N] $\{F_u; F_f; F_{ap}; F_p\}$ |
| 1 | 140 | MD | | |
| 2 | 220 | MD | | |
| 3 | 400 | CBN | | |
| 4 | 650 | CBN | | |
| 5 | 1000 | CBN | | |
| Constantes | | | | |
| | | Sentido de corte: concordante | | |
| Movimento Ascendente | | Estratégia: Usinagem em Contorno | | $a_n = 0,10$ mm |
| Fluido de Corte = ar comprimido (6,5 MPa) | | $B_f = 0^\circ$ | $B_{fn} = 75^\circ$ | $a_e = 0,35$ mm |
| MD micro grão / TiAl | | $VB = 0,02$ mm | $Rt_h = 0,0025$ mm | $f_z = 0,05$ mm |

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Análise da Influência das Condições de Contato, entre a Ferramenta de Corte e a Superfície Usinada, nos Esforços

Os valores das forças, apresentados no gráfico da Figura 3, correspondem à média dos valores RMS de duas réplicas, medidas, cada uma delas, em um comprimento usinado de 30 mm, em cada passe, numa área usinada de 30 mm x 20 mm, de acordo com as condições da Tabela 1. Para melhor compreensão dos resultados apresentados para a força de usinagem (F_u) é necessário observá-la junto com as suas componentes, as forças de avanço (F_f), de apoio (F_{ap}) e passiva (F_p), em função da variação do sentido de corte, concordante e discordante, e dos valores do ângulo de inclinação normal à direção de avanço (B_{fn}), de 75° e de 15° .

Através da Figura 3, ao avaliar-se a influência do ângulo de inclinação da ferramenta de corte na direção normal à direção de avanço (B_{fn}) e do sentido de corte, nos esforços de usinagem, observa-se que:

- A força de usinagem (F_u) e suas componentes diminuem quando B_{fn} varia de 15° para 75° ;
- Para $B_{fn} = 75^\circ$, a força de usinagem (F_u) e suas componentes aumentam de valor, quando o sentido de corte varia de concordante para discordante, exceto para a força de apoio, que praticamente não apresenta alteração;
- Para $B_{fn} = 15^\circ$, a força de usinagem (F_u) praticamente não se altera, quando o sentido de corte varia de concordante para discordante. Todavia, há variação das suas componentes. Observa-se um balanço nesta variação, sendo que, para um aumento da força de avanço (F_f), observa-se um decréscimo proporcional da força de apoio (F_{ap}).
- A força passiva (F_p), apesar das pequenas variações, de 5% a 10%, apresenta a tendência de aumentar, quando o sentido de corte varia de concordante para discordante, para $B_{fn} = 15^\circ$ e para $B_{fn} = 75^\circ$.
- O ângulo B_{fn} tem maior influência na força de usinagem (F_u) do que o sentido de corte, influenciando, entre as suas componentes, principalmente a força de avanço, seguida da força passiva e da força de apoio;

- O sentido de corte influencia principalmente as forças de avanço e de apoio.

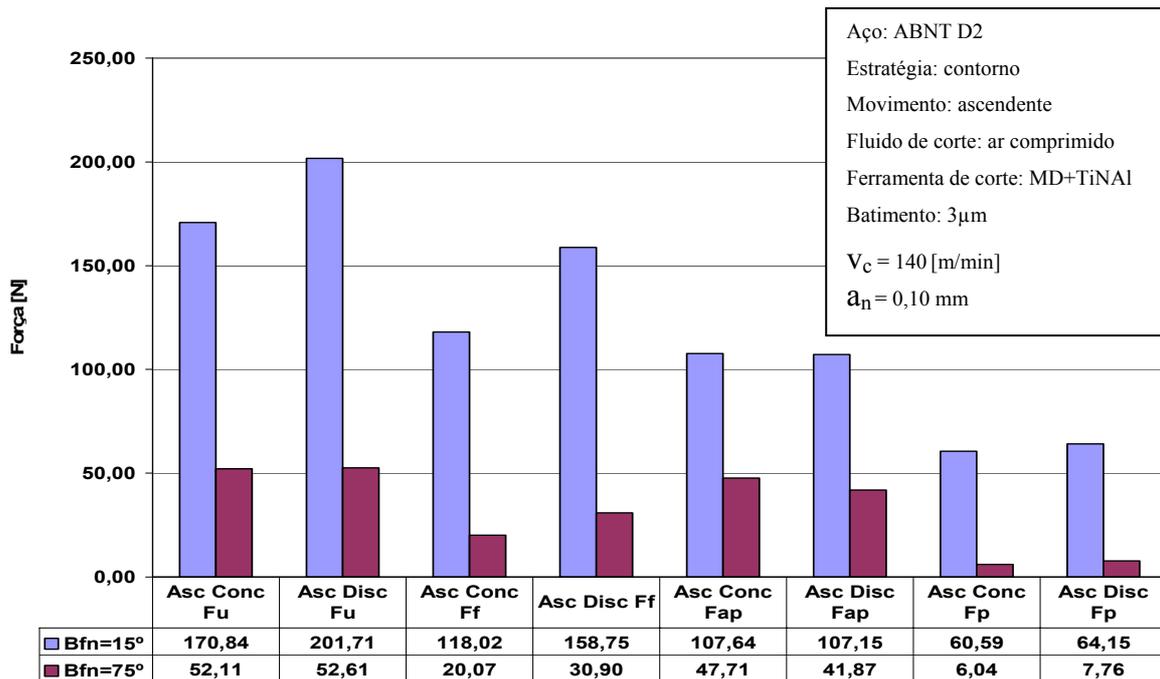


Figura 3. Força de usinagem (F_u) e suas componentes: força de avanço (F_f), força de apoio (F_{ap}) e força passiva (F_p), em função do sentido de corte e do ângulo de inclinação normal à direção de avanço (B_{fn}).

Observa-se que o sobrematerial (a_n) e o avanço por dente (f_z) são constantes, e, conseqüentemente, o volume de cavaco removido a cada volta, porém, o diâmetro de corte (D), medido no plano de trabalho, é menor para $B_{fn} = +15^\circ$. Para uma inclinação $B_{fn} = +75^\circ$ a velocidade de corte (v_c) ao longo da aresta de corte da ferramenta, varia de 137m/min a 140m/min, e para $B_{fn} = +15^\circ$ varia de 37m/min a 140m/min. Assim, atribui-se a maior velocidade de corte média, quando $B_{fn} = +75^\circ$, a redução da força específica de corte ($K_{c1.1}$), e conseqüente redução da força de corte (F_c). Com a redução da força de corte (F_c) também as suas componentes na direção da força de avanço (F_f) se reduzem.

A componente da força de usinagem (F_u), na direção de apoio, é menor para o sentido de corte discordante, pois, os módulos das componentes da força de corte (F_c), nesta direção, são menores, em relação aos observados para o sentido concordante. Este efeito é mais notável para $B_{fn} = 75^\circ$, pois a força normal (F_n) à superfície usinada também tem influência na força de apoio (F_{ap}). Para $B_{fn} = 15^\circ$ o módulo da componente da força normal (F_n), medido no plano dorsal (P_p), na direção da força de apoio (F_{ap}), é menor do que para $B_{fn} = 75^\circ$.

Como demonstrado por Aksoy, ⁽¹⁾ e apresentado nas Figuras 2 (a) e 2 (b), no fresamento com fresas de topo esférico, os ângulos de inclinação da ferramenta (B_{fn} e B_f), para valores constantes da rotação (n), do sobrematerial (a_n) e do avanço por dente (f_z), têm influência na variação do diâmetro de corte, e, conseqüentemente, na variação da velocidade de corte, sendo que, quando o corte ocorre próximo ao eixo de rotação da ferramenta, a velocidade de corte, medida ao longo da aresta de corte, diminui muito, podendo chegar à zero. Com a redução da velocidade de corte (e conseqüentemente da temperatura de corte), tende a aumentar o valor da força específica de corte ($k_{c1.1}$) e conseqüentemente da força de corte (F_c).

3.2 Análise da Influência das Condições de Contato, entre a Ferramenta de Corte e a Superfície Usinada, na Rugosidade

Na Figura 4 podem ser vistos os valores da rugosidade (R_a) em função da variação do sentido de corte, concordante e discordante, e dos valores do ângulo de inclinação normal à direção de avanço (B_{fn}), de 15° e de 75° .

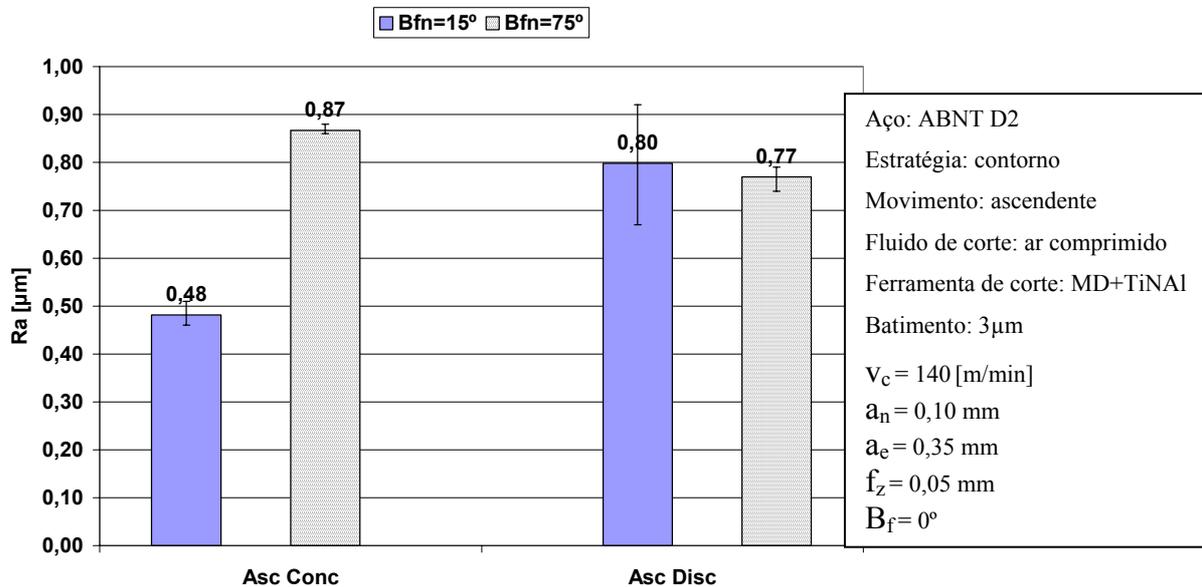


Figura 4. Comportamento da rugosidade R_a , transversal, em função das variáveis de influência.

Através da Figura 4, ao avaliar-se a influência do ângulo de inclinação da ferramenta de corte na direção normal à direção de avanço (B_{fn}) e do sentido de corte, na rugosidade, observa-se que:

- Para $B_{fn} = 15^\circ$, a rugosidade é menor para o sentido de corte concordante. O sentido de corte discordante deve ser evitado, pois além do maior valor da rugosidade, a dispersão dos resultados também é grande;
- Para $B_{fn} = 75^\circ$, a rugosidade é ligeiramente menor para o sentido de corte discordante, porém, a diferença não é expressiva e a dispersão dos resultados é maior para o sentido discordante;
- O ângulo de inclinação da ferramenta de corte e o sentido de corte têm influência na rugosidade da superfície usinada;

O aumento da rugosidade para $B_{fn} = 15^\circ$, quando se alterou o sentido do movimento de concordante para discordante está relacionado à formação do cavaco e à deflexão da ferramenta. No movimento discordante há o deslizamento da ferramenta de corte sobre a superfície usinada, até que ocorra o início da formação do cavaco. Este deslizamento, associado ao fluxo de material entre a aresta de corte e a superfície usinada, à deformação e à adesão de material na superfície usinada, à baixa velocidade de corte próximo ao centro da fresa são as principais causas para o maior valor de rugosidade e também para a maior dispersão observada. O balanço da ferramenta de corte, de aproximadamente 6,5 o diâmetro, favorece a ocorrência da deflexão da ferramenta de corte e acentua os fenômenos citados.

Para o sentido concordante, quando $B_{fn} = 75^\circ$, observa-se um valor de rugosidade maior. Atribui-se este comportamento à maior deflexão da ferramenta de corte, e a conseqüente ocorrência dos fenômenos citados no parágrafo anterior, sendo um dos indicativos de que isto ocorra, o maior valor da força de apoio (F_{ap})

para o sentido concordante.

A menor variação na dispersão dos valores de rugosidade observados quando $B_{fn} = 75^\circ$, para o sentido discordante, pode ser associada, principalmente, à menor variação da velocidade de corte ao longo da aresta de corte da ferramenta, de aproximadamente 2%, em relação à variação de aproximadamente 73%, quando $B_{fn} = 15^\circ$.

Observa-se que o ângulo de inclinação da ferramenta de corte e o sentido de corte têm influência na rugosidade da superfície usinada. Quando $B_{fn} = 75^\circ$, não houve diferença expressiva entre os valores de rugosidade obtidos, com a variação do sentido de corte. Assim, adotando-se como critério a rugosidade, seria possível mesclar em uma estratégia de usinagem o sentido de corte concordante e discordante, reduzindo em alguns casos o tempo de usinagem, como consequência da redução do deslocamento da ferramenta de corte em vazio. Por outro lado, se o principal critério para seleção do sentido de corte for a vida da ferramenta de corte, a melhor opção é o sentido de corte concordante, como demonstrado por Aksoy.⁽¹⁾ Quando $B_{fn} = 15^\circ$, observados os valores da rugosidade e os resultados de Aksoy,⁽¹⁾ a melhor opção é o sentido de corte concordante.

3.3 Análise da Influência da Variação da Velocidade de Corte nos Esforços de Usinagem e na Deflexão da Ferramenta de Corte

Os valores apresentados na Figura 5 correspondem à média do maior valor RMS das forças, registrados em três réplicas, para um comprimento de 30 mm, que equivale a um passe da ferramenta de corte sobre o corpo de prova.

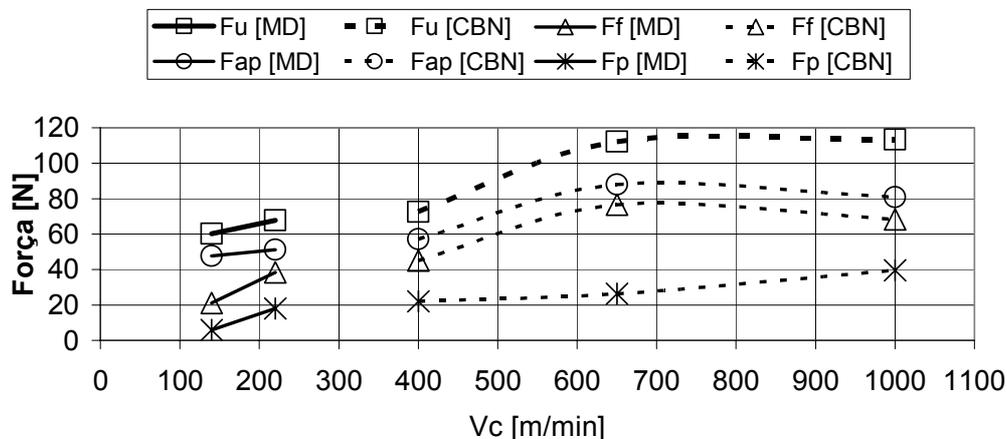


Figura 5. Variação da força de usinagem e suas componentes para as velocidades de corte (v_c) de 140m/min, 220m/min, 400m/min, 650m/min e 1000m/min, o avanço por dente (f_z) de 0,05mm/dente e o sobrematerial (a_n) de 0,1mm.

Observa-se para a ferramenta de metal duro e de CBN, nas velocidades de 140 m/min e de 220 m/min e de 400 m/min e 650 m/min, respectivamente, que com o aumento da velocidade de corte há um aumento da força de usinagem (F_u). No entanto, para a maior velocidade de corte ensaiada, de 1000 m/min, há uma aparente redução da tendência de crescimento da força de usinagem (F_u). É importante alertar que os valores apresentados indicam apenas a tendência e não tem a finalidade de quantificar os esforços obtidos, sendo o valor RMS a forma encontrada para comparar os sinais de força em um passe da ferramenta de corte. A redução da tendência de crescimento da força de usinagem (F_u) pode se explicada pelo fenômeno de “amolecimento térmico”, na formação do cavaco, em função da elevação da temperatura, como comentado por Shaw.⁽⁹⁾ König⁽¹⁰⁾ afirma que altas

velocidades de corte proporcionam mais energia dissipada, pois é maior a temperatura na área de contato ferramenta-peça. Baseado nesta informação, Tönshoff⁽¹¹⁾ explica que em função deste calor gerado, na região de corte, o material na zona de cisalhamento primária pode sofrer uma redução no valor de dureza e, como consequência, são geradas menores forças de corte (F_c) durante a usinagem. Segundo Sang-Kyu Lee e Sung-Lim Ko,⁽¹²⁾ a força de corte (F_c) pode ser decomposta em duas componentes, força normal (F_n) e força tangencial (F_{tan}), no sentido concordante a força normal (F_n) é grande, bem como a sua projeção na direção da força de apoio (F_{ap}). Já a força tangencial é pequena, bem como a sua projeção na direção da força de avanço (F_f).

3.4 Análise da Influência da Variação da Velocidade de Corte na Rugosidade

Ao observar-se a influência da velocidade de corte nos valores das rugosidades (R_a), para fresas de topo esférico de MD e de CBN, observou-se que com o aumento da velocidade de corte, há uma redução nos valores da rugosidade medida na direção perpendicular ao movimento de avanço. Esta redução pode ser explicada pela interação de diversos fatores, entre eles a observação da redução dos esforços de usinagem, devido ao aumento da velocidade de corte e da temperatura de usinagem. Com a redução dos esforços há redução da deflexão da ferramenta e dos fenômenos do corte nocivos ao acabamento, tais como a vibração, decorrente da variação da espessura do cavaco e o fluxo lateral de cavaco. Para velocidades de corte maiores, nas condições ensaiadas, a rugosidade é menor, exceto para a velocidade de corte de 650 m/min, pois a frequência de entrada dos dentes da ferramenta era um múltiplo da frequência natural de vibração do conjunto ferramenta de corte e mandril, montados no eixo árvore da máquina ferramenta, fazendo surgir o fenômeno de vibração auto excitada.

4 CONCLUSÕES

O tratamento dos dados e as análises dos resultados obtidos neste trabalho experimental permitem, respeitando-se as particularidades das condições operacionais, máquina ferramenta e ferramentas de corte utilizadas, para o material em estudo, apontar as seguintes conclusões:

- Na usinagem de regiões planas de moldes e matrizes deve-se adotar $B_{fn} = 15^\circ$ e o sentido de corte concordante, para a estratégia de usinagem em contorno, observados os menores valores da rugosidade e dos esforços de usinagem.
- Como, para $B_{fn} = 75^\circ$, não houve diferença expressiva entre os valores da rugosidade e dos esforços de corte obtidos com a variação do sentido de corte. Desta forma, na usinagem de paredes inclinadas, de moldes e matrizes, é possível mesclar em uma única estratégia de usinagem o sentido de corte concordante e o sentido de corte discordante. Esta estratégia reduz o tempo de usinagem, pois praticamente pode eliminar o tempo de percurso da ferramenta de corte em vazio, no entanto, faz-se necessária a realização de ensaios de vida, para verificar se é significativa a redução da vida da ferramenta de corte em decorrência do uso do sentido de corte discordante.
- A rugosidade diminui com o aumento da velocidade de corte para os valores ensaiados com ferramentas de metal duro e de CBN, porém devem ser evitadas condições de usinagem que causem o fenômeno de vibração auto excitada.

REFERÊNCIAS

- 1 AKSOY, Z. **Optimierung des 3-Achsen Hochgeschwindigkeitsfräsens bei der Bearbeitung von Freiformflächen**. 1997. 107p. Dissertação (mestrado). Aachen : Shaker, 1997.
- 2 DIN 66 217, 1984
- 3 SCHULZ, H.; HOCK, S. High speed milling of dies and moulds–cutting conditions and technology. **Annals of the CIRP**, v. 44, n.1, p. 35-38, 1995.
- 4 HOCK, S. **Hochgeschwindigkeitsfräsen im Werkzeug – und Grossformenbau: Eingriffsverhältnisse und Technologie**. Aachen : Shaker, 1996.
- 5 JANOVSKY, D. **Einfluss der technologie auf massgenauigkeit und prozesssicherheit beim hochgeschwindigkeits fräsen im werkzeug-und formenbau**. Aachen : Shaker, 1996. 153 p.
- 6 DEONISIO, C. C. C.; et al **Introdução da usinagem em alta velocidade na ferramentaria da Arvin Meritor**. [S.l : s.n.], 2003. (Relatório técnico nº 01/2003, jan. 2003).
- 7 GEIST, J.; FINZER, T. Influência dos parâmetros de usinagem HSC na programação NC. **Máquinas e Metais**, n. 411, p. 30-49, abr. 2000.
- 8 KOEPFER; BOOGERT. apud SCHULZ, H. **Scientific fundamentals of HSC**. Munich : Carl Hanser, 2001.
- 9 SHAW, M. C. **Metal cutting principles**. New York : Oxford University Press, 1986. p. 451-461.
- 10 KÖNIG, W., et al. Machining of hard materials with geometrically defined cutting edges – field of applications and limitations. **Annals of the CIRP**, v. 39, n.1, p. 61-64, 1990.
- 11 TÖNSHOFF, H. K.; WOBKER, H. G.; BRANT, D. Wear characteristics of cermet cutting tools. **Annals of The CIRP**, v. 43, n. 1, p. 89-92, 1994.
- 12 SANG-KYU LEE; SUNG-LIM KO. Improvement of the accuracy in the machining of a deep shoulder cut by end milling. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 111, n.1-3, p. 244-249, Apr. 2001.

BIBLIOGRAFIA

- 1 DIN 8589-b, Fertigungsverfahren Übersicht; Deutsche Institut für Normung; Berlin;1985

INFLUENCE OF THE CUTTING PARAMITERS AND ... IN THE QUALITY OF TOOLS FOR CUTTING AND FORMING¹

*Carlos Cesar de Castro Deonísio*²
*Olívio Novaski*³

Abstract

The main goal of this investigation is to characterize the quality of the generated surface, in the process of finishing milling, of the hardened steel for cold work ABNT D2. The method of factorial planning was used and the variables of influence were the conditions of contact between the cutting tool and the machined surface, the cutting speed. The increase of the cutting speed change the mechanism of chip formation, causing the reduction of the ratio of the increase of machining forces and increase of the cut speed. The cutting speed and the conditions of contact have strong action in the machining forces and the roughness.

Key words: High speed machining; Milling; Die and molde; Surface integrity.